

Industrial Connection Technology

# 工业电气连接技术的 原理及应用

(德) Werner Jansen

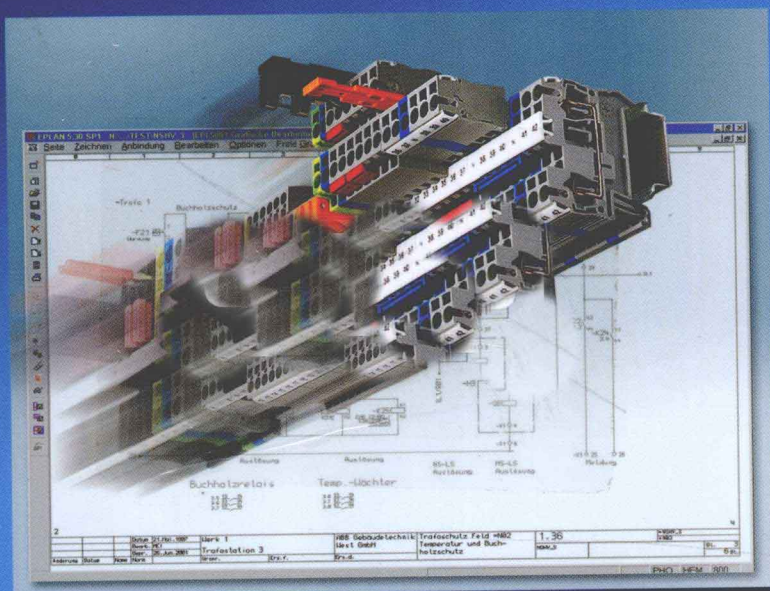
著

徐央央 吴 岑

编译

杜品圣 吕蓉云

主审



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 工业电气连接技术的 原理及应用

原 著 (德) Werner Jansen

编 译 徐央央 吴 岑

技术审核 杜品圣 吕蓉云

编 委 李慕松 顾建党 杜品圣 曾向秋  
朱 犇 丁晓华 杨 斌 马如明

国防工业出版社

· 北京 ·

# 著作权合同登记 图字:军-2010-109 号

## 图书在版编目(CIP)数据

工业电气连接技术的原理及应用 / (德) 詹森  
(Jansen, W.) 著; 徐央央, 吴岑译. —北京: 国防工业出  
版社, 2011. 6

ISBN 978-7-118-07385-0

I. ①工... II. ①詹... ②徐... ③吴... III. ①电  
气设备-连接技术 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 092983 号

The German version of the manual was printed in 2006 by Verlag Dr. - Ing. Paul  
Christiani GmbH & Co. KG, Konstanz, Germany. All rights reserved.

本书简体中文版由 PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG 公司授予国防工业  
出版社出版发行。版权所有, 侵权必究。

※  
  
国防工业出版社出版发行  
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)  
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司印刷  
新华书店经售  
※

开本 889 × 1194 1/32 印张 6 字数 156 千字

2011 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—18000 册 定价 22.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

# 序 言

只要是用电的场合,就离不开电气连接。试想一下,如果没有可靠的电气连接,一个个孤零零的元器件、设备甚至是系统如何能运作起来,实现各种各样的功能呢?

电气连接按照应用的场合分为不同的连接方式,比如有的是针对较粗的大型电缆的永久性连接,如电厂粗电缆或海底电缆;但更多的是针对常用电缆/电线以及电子/气设备的可拆性连接。后一种包括的应用范围更广,情况更复杂。人们开发出了各种连接技术以满足可拆性连接方式不同的需求,如具有广泛适应性的螺钉接线技术;防振性能突出的弹簧接线技术以及节省时间、效率高的快速免剥线连接技术等。今天科技的发展对连接技术提出了更高的要求,人们不再满足于电信号的连接,满足于有线信号的连接。数字化、智能化的管理方式,使得人们开始寻求光信号连接技术和无线工业连接技术的发展,未来的电气连接将更多地依托信息技术和自动控制技术。

本书的作者 **Werner Jansen** 是德国亚琛应用科技大学余力希分校的一位退休教授,他先从电气连接的学科背景和技术发展讲起,并以德国菲尼克斯电气的产品为例,分析不同技术的特点和应用环境,既有理论介绍也有实际应用,帮助读者更好地理解。

德国菲尼克斯电气公司致力于电气连接技术的开发有近 100 年的历史,现代电气工业第一片组合式接线端子就是在这个公司诞生的(1928 年)。很高兴有机会与广大读者分享在电气连接技术上的经验。我们期望与大家携手共同打造一个精彩纷呈的电气世界。

菲尼克斯电气中国公司 总裁



于 2011 年 5 月

# 目 录

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                      | 1  |
| 1.1 概念 .....                        | 1  |
| 1.2 电气连接的基础知识 .....                 | 4  |
| 1.3 内容范围 .....                      | 7  |
| 习题 .....                            | 8  |
| 参考文献 .....                          | 9  |
| 第 2 章 工业连接技术 .....                  | 10 |
| 2.1 强电流专用连接器和端子 .....               | 10 |
| 2.1.1 可拆线式连接 .....                  | 10 |
| 2.1.2 半可拆线式连接 .....                 | 15 |
| 2.1.3 永久性连接 .....                   | 16 |
| 习题 .....                            | 20 |
| 2.2 信号和动力传输用连接器和端子 .....            | 21 |
| 2.2.1 菲尼克斯电气公司的连接技术 .....           | 28 |
| 2.2.2 CLIPLINE 组合接线端子的附件系统 .....    | 35 |
| 2.2.3 CLIPLINE 组合接线端子的结构类型 .....    | 38 |
| 习题 .....                            | 51 |
| 2.3 电子工业的接口和连接技术 .....              | 52 |
| 2.3.1 工业现场连接器 .....                 | 54 |
| 2.3.2 印制线路板连接器 .....                | 64 |
| 2.3.3 压线连接技术 .....                  | 73 |
| 习题 .....                            | 76 |
| 第 3 章 EPLAN 和 CLIP PROJECT 软件 ..... | 77 |
| 3.1 EPLAN 软件 .....                  | 78 |

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 3.2   | CLIP PROJECT 软件 .....   | 82  |
|       | 习题 .....                | 84  |
|       | 参考文献 .....              | 85  |
| 第 4 章 | 自动化行业应用案例 .....         | 86  |
| 4.1   | 机械制造业 .....             | 86  |
| 4.2   | 石化行业的过程控制技术 .....       | 99  |
| 第 5 章 | 车间电气维护领域的应用案例 .....     | 105 |
| 第 6 章 | 楼宇和基础设施建设领域的应用案例 .....  | 111 |
| 6.1   | 楼宇的电气安装 .....           | 111 |
| 6.2   | 基础设施建设 .....            | 116 |
|       | 参考文献 .....              | 121 |
| 第 7 章 | 电气设备和系统上的应用案例 .....     | 122 |
| 第 8 章 | 特殊应用案例 .....            | 136 |
| 8.1   | 交通运输业 .....             | 136 |
| 8.2   | 环保技术 .....              | 142 |
| 附录 1  | 产品质量标准 .....            | 146 |
| 附录 2  | EPLAN 软件介绍 .....        | 181 |
| 附录 3  | CLIP PROJECT 软件介绍 ..... | 184 |

# 第1章 绪 论

---

## 1.1 概 念

电气工程学是当今高新技术领域中不可或缺的关键学科。它以研究“电”现象在工程中的应用为主要任务,涵盖了在研究和应用“电”的过程中所涉及的各大领域。传统上人们把电气工程学简单地分为电力电子技术和电子通信技术。但随着科技的不断发展,这两大领域又派生出了许多分支学科。各类电工职业进修学校的不断兴起也说明了这样一个情况。从电气工程学的整体架构图(图 1.1)中可以看出,电力电子技术(简称“电力技术”)包含发电和输配电技术、电机与动力装置、高压技术;电子通信技术(又名“信息和通信技术”)包含电子学、高频技术、传输技术和信号处理技术;电工理论、测量技术、控制技术和自动化技术则横跨这两门学科。以自动化技术为例,它的理论基础既受通信技术方法论也受电力电子技术方法论的影响。这尤其表现在工业通信上,该领域使用的自动化设备(如继电器、动力装置)均来自电力电子技术领域。

虽然电气工程学的学科划分交错复杂,学科之间相互渗透,但所有分支学科均离不开电气工程的基础技术,即电气接口和连接技术。

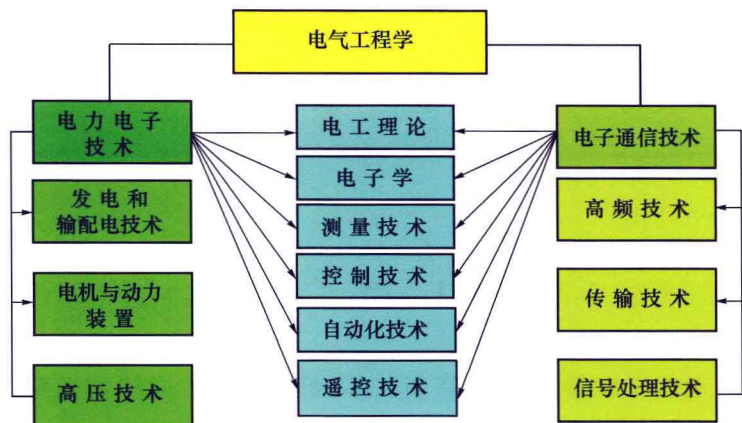


图 1.1 电气工程学科架构图

电气接口和连接技术指为各电力组件、开关元件、装置、机器和设备建立电接口以及对连接它们的电流载体(如印制电路板/导线、电缆、汇流条)进行电气连接而采取的所有措施。电气连接以金属性物理连接为主,可以是不可拆线式连接,也可以是可拆线式连接。

从以上定义不难看出,电气接口和连接技术是制造电气元件和设备的基础技术之一。它凭借接触点(如电气柜上的电缆连接终端)建立元件和设备之间的连接,然后再通过各种接口建立设备和系统之间、系统和系统之间的连接。

以笔记本电脑为例,联想电能从发电厂输出并最终应用在笔记本电脑上驱动微处理器的整个过程,我们应该更加容易理解电气接口和连接技术的多样性及其意义所在。

笔记本电脑的主板与一个 CPU 插座焊接,微处理器芯片插在该 CPU 插座中。CPU 插座周围布有利用并行总线相互连



接的各种外围组件。其他组件(如硬盘)插在标准的印刷线路板插槽中。这些插槽也用于外延功能模块的扩展如无线局域网的连接。其他对外接口如耳机接口、投影仪接口、固件、以太网或 USB 接口也已完全标准化。再来看电源,笔记本电脑的电源插头插在两孔或三孔插座上,它负责为笔记本电脑提供直流电。在电源输入端,交流电借助适配器微型插头/插座、保护接地电缆和保护接地插头完成馈电。其中,保护接地电缆用于连接适配器插头和保护接地插头,电缆两端的芯线分别与两个插头的触点焊接,实现不可拆线式连接。为满足同步使用各种外围设备(如打印机、传真机)的需要,可用带过压保护的接线板对 220V 的家用电压进行分配。

接下来就是室内电气安装的过程。它主要分为 4 个部分:保护接地插座、墙式分线盒、家用配电箱、室外引入线。其中,室外引入线与主保险装置连接;保护接地插座采用螺钉或插拔式连接;墙式分线盒通过彩色分线端子连接  $1.5\text{mm}^2$  或  $2.5\text{mm}^2$  的铜质硬导线;配电箱内配有各种线路保护元件、熔断开关和电度计,箱体内的端子通常采用螺钉连接技术,可以连接各种大小不等的导线(最大至  $35\text{mm}^2$ ),包括加冷压头的导线。

家用进线盒和用户引入线的另一端是由电力公司运营的三相电网,常见电压为 400V。与 10kV 或 20kV 的输电网一样,该电网通常采用电缆结构。配电网经变电所降压后供电。变电所的主要控制设备除变压器外,还有开关元件、断路器等,它们附带具有相应电流负载能力和抗烧损能力的接点,其主要功能是接通并分配电流。开关器件和接地线之间通过线缆终端连接,线缆终端的其中一端采用不可拆线式的压接连接。

电能从发电机出来后经过升压变上到主电网,主网的电压等级很高,目前我国采用 500kV 的主网传输。电能从主网输送出来进入配电网要经过室外变电站即经过降压变调低电压等

级。根据用电负荷不同,城市公用电网电压等级是从主网受电的 10kV 至 110kV。这些电能主要依靠变电站的高压电网(露天线路)输送。变电站配有各种变电装置和中继装置,负责为城市或整个地区输送电力,同时也可以直接向大型工业用电户供电。变电站及其分布式流程主要借助中心观测站的遥控技术加以控制并检测。

从以上输配电过程可以看出,电能从发电厂输送到终端用户大致经过以下几个环节。

- (1) 带发电机组及发电机/变压器组的电站。
- (2) 带室外变电站的主电网。
- (3) 电力公司电网。
- (4) 工厂或楼宇的电气安装。
- (5) 设备电气连接。
- (6) 装置电气连接。
- (7) 印制线路板接线。

其中(3)~(7)为本书重点介绍的内容。

## 1.2 电气连接的基础知识

电气连接的基本任务是实现接口或接触点的物理性连接,使电流顺利通过。连接产生的过渡(接触)电阻越小越好。这一原则可以解释作为连接元件之一的导线为什么取材导电性较好的铜和铝。导线品种繁多,不同的使用场合可以选择不同结构的导线:单股导线或单芯线、多股导线、印制板电路外接导线、沿着特定线路铺设并用以分配电能的线缆和汇流排,等等。

为方便导线连接,各种连接技术应运而生。根据方式和结

构不同,电气连接技术可分为以下几类。

(1) 可拆线式连接,即导线连接后可反复拆开连接,导线完整无损,如:

- 电缆连接终端;
- 端子/组合接线端子——螺钉连接、回拉式弹簧连接、直插式连接、快速免剥线及螺栓连接;
- 插头/插拔式连接器(弹簧触头)。

(2) 半可拆线式连接,即导线连接后可借助一定的工具重新拆开,导线完整无损,如:

- 压接;
- 焊接(手工钎焊、波峰焊);
- 铆接;
- 快速免剥线连接;
- 绕接。

(3) 永久性连接,即导线连接后不可拆除,如:

- 胶接(冷压焊);
- 粘接(使用导电胶);
- 压接(开槽压接、圆形压接、六角压接);
- 焊接(铝热焊、放热焊接)。

端子是可拆线式连接件的一种。在国际电气工程词典(IEV)中,“端子(terminal)”指在电气装置、电路或者电网中架起连接的桥梁,使电流通过并能使该装置、该电路或该电网与一个或多个外部导体连接的电气元件。

“接口”是“端子”的同义词。作为专业术语,“端子”和“接口”拥有各自不同的含义。接口的含义相对较广,它可以描述元器件的连接能力(如:“本设备带电源接口”),也可以指连接的部位或地方(如:该USB接口在前面)。

相比之下,端子则更多地从技术结构的角度定义实现电气

连接功能的连接件/元器件。因本书重在探讨不同供电层面中电气连接件采用的技术方案和结构,所以采用端子作为本书的基本概念更为合适。

在爱迪生最早设想的端子雏形中,端子是一个管状金属体(连接套管),两端各接一个螺钉。两根导线从套管上的两个开口插入管体,末端用螺钉压紧,以此实现电气连接。在 19 世纪 70 年代电气化时代伊始,该接线原理被广泛应用于电气连接端子——陶瓷绝缘端子上。直至今日,爱迪生设想的连接方式仍然是电力公司电缆配件中导线连接件(螺钉连接套管)的标准。通常,人们把连接导线的金属元件称为连接器(DIN VDE 0289,第 6 部分)。一个用于连接电源线的现代螺钉连接器如图 1.2 所示。螺钉连接器改型后可用作设备端子的内部零件,因其结构紧凑,设备端子往往被用在电气电子设备的电源连接上或接线盒内(图 1.3)。连接器和端子的连接点属固定触点,与之对应的是开关式触点。开关式触点的作用是中断或断开已有的连接。

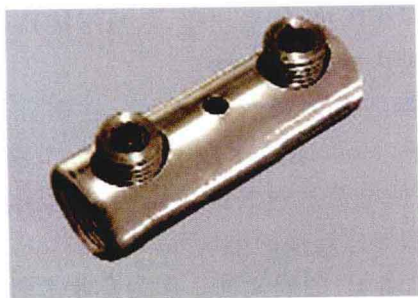


图 1.2 一个连接电力线路的现代螺栓连接器

(图片来源: Arcus)

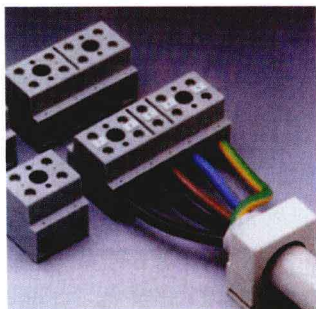


图 1.3 连接电源的组合式设备端子

(图片来源: Phoenix Contact)

### 1.3 内容范围

本书 1.1 节将发、配、输、变、供及用电系统中与电气接口和连接技术相关的环节归纳为 7 个层面。本书将侧重讲述电气接口和连接技术在后 5 个层面上的应用,即城乡电力公司电网接线、工厂或楼宇的电气安装、设备电气接线、元器件电气接线和印制线路板接线。根据适用的电流强度和作用不同,我们把端子和连接器分为三大类:强电流专用连接器和端子、信号和功率传输用连接器和端子、电子工业的接口和连接技术。本书第 2 章将对此展开详细叙述。

结合当今电气工程师及技术人员所从事的主要行业,本书在第 4 章至第 7 章将特别介绍一些典型的行业应用案例。这些案例涉及自动化行业(以机械制造、化工和过程控制技术为例)、车间电气维护行业(以发电和输配电技术为例)、楼宇和基础设施建设行业(以楼宇安装和基础设施建设为例)、



电气设备和系统(以电气设备制造和系统研发为例)。第8章介绍某些特殊领域的应用案例,如交通和环保领域。介绍不同的案例旨在让读者理解不同连接技术的优势所在以及为什么在特定的应用场合选用特定的连接技术。

当然,电气接口和连接技术也广泛应用于核电站领域。但这些项目有其特殊的规范和标准,因此需要特殊的连接技术解决方案,本书对此不作探讨。煤/褐煤/天然气/水力发电站的发电机电流非常高,为削弱集肤效应,只能采用管状空心导线输送,另外输电线路的电压可高达400kV,这类电力技术也不在本书的探讨范围之内。

如今,随着计算机技术的不断发展,利用计算机辅助设计电气工程已非常普遍。本书将选取其中一个章节,简要介绍EPLAN软件和CLIP PROJECT软件。其中EPLAN是一款源自德国的顶级电气设计和管理软件,主要面向传统的电气设计和自动化集成商的系统设计。本书列举的部分应用案例就借助EPLAN软件设计而成。CLIP PROJECT是一款由菲尼克斯电气公司自行开发的软件,主要用于端子条规划和标识设计,带自动检测功能。

### 习 题

1. 如何理解概念“电气接口和连接技术”?
2. 列举三种连接技术。

## 参 考 文 献

[1] Forum 11, Informationstechnischer Anschluß in anwendungsneutralen Kommunikations kabelanlagen-Hinweise, Beispiele, Material-3. überarbeitete Auflage 2004, Herausg. : ZVEI-Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e. V. und Bundesverband Informationswirtschaft Telekommunikation und Neue Medien e. V. (BITKOM).

[2] Junker, E. : 20-KV-Verbindungsmuffe mit Schraubverbinder. Elektrizitätswirtschaft, Jg. 90 (1991), Heft 8.

## 第2章 工业连接技术

---

### 2.1 强电流专用连接器和端子

在大功率电子技术领域,连接器和端子通常用于连接导线或机器和设备的接口。“连接”首先指通过电缆和电线的连接,形成各个供电回路。其次是对机器、器件或其他电气设备进行电气连接。连接器、接头和接口的设计原则是能让额定电流和瞬态冲击电流安全通过。

连接器、接头和接口须具备以下电气和机械性能:

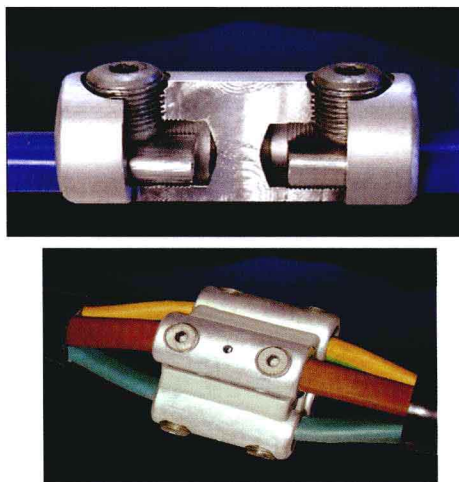
- 接触电阻最小化,且尽可能不受外界影响;
- 在相同扭矩下,多导线端子的接触力尽可能集中分布;
- 保持持久的最小结构应力;
- 牢固,能抵抗负荷变化和冲击电流;
- 易安装;
- 维修量少或免维修。

#### 2.1.1 可拆线式连接

图2.1列举了电气技术上惯用的几种可拆线式连接器和端子:螺钉直接压接端子、多导线连接端子和螺钉非直接压接端子。这些连接器和端子虽然结构不同,但接触压力均由螺钉产生。

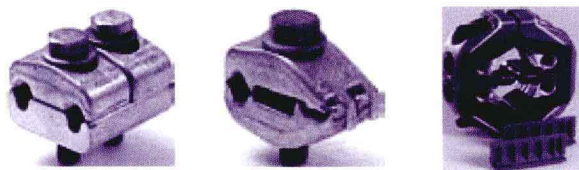


它们为实现较低的接触电阻,必须保证在足够大的接触面上产生极高的接触压力。接触压力和接触电阻的关系如图 2.2 接触压力曲线所示。在接触压力下降(原因可能是导线收缩或夹体潜伸)的情况下如果接触电阻仍能保持不变,说明端子持

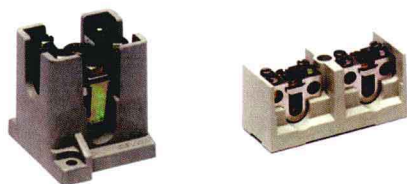


Arcus 产品 (上: 剖面图, 下: 四芯电缆接头)

(a) 铝导线接线端子



Pfisterer 产品



Geyer 产品

(b) 多导线连接端子